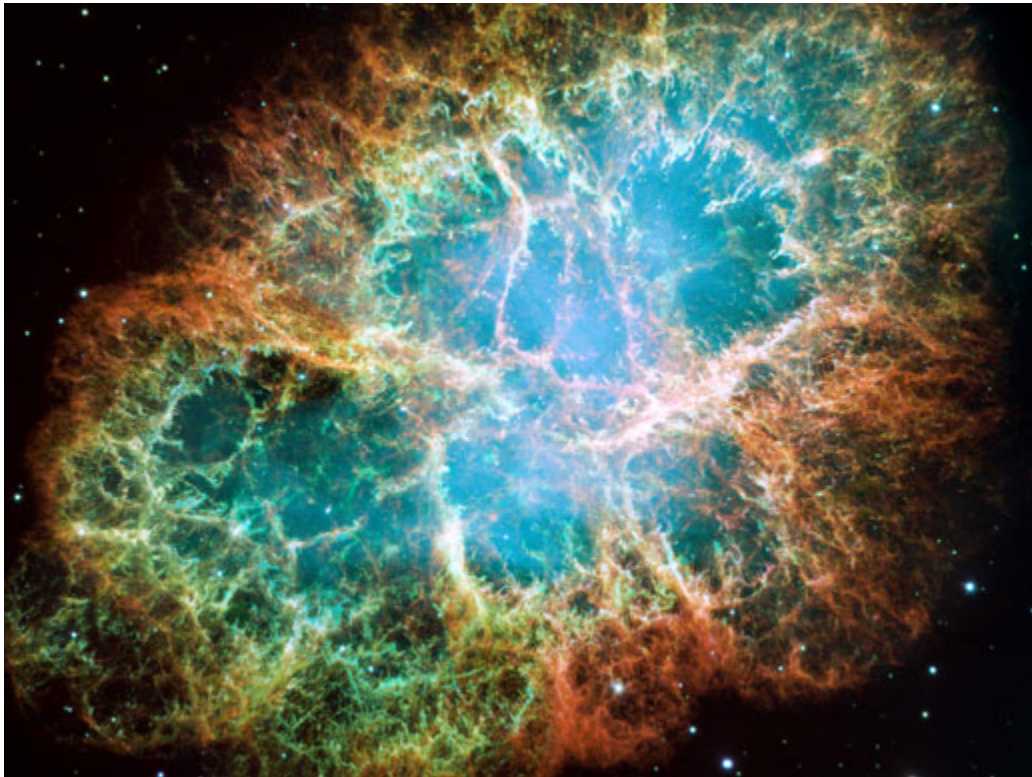


NOT-tiedekoulu 2011

# *Fotometria ja avaruuskuvien käsittely*

Rapusumu



Ryhmä 2: Anna Anttalainen, Oona Snicker, Henrik Rahikainen, Arttu Tiusanen ja Sami Seppälä

## Sisällysluettelo

### 1 Fotometria

- 1.1 Johdantoa
- 1.2 Peruskäsitteitä

### 2 Fotometrian mittauksia

- 2.1 Mittaaminen fotometrillä
- 2.2 Mittaaminen CCD-kameralla
  - 2.2.1 Apertuurifotometria
  - 2.2.2 PSF-fotometria

### 3 Magnitudit

- 3.1 Magnitudijärjestelmät

### 4 Kuvankäsittely

- 4.1 Virheiden korjaus
- 4.2 Kauniit kuvat

### 5 Lähteet

# 1 Fotometria

## 1.1 Johdantoa

Fotometria tutkii taivaankappaleiden lähettämää sähkömagneettista säteilyä. Tarkoituksena on mitata säteilyn vuontiheyttä tietyllä aallonpituusalueella. Fotometrian mittausvälineenä toimii yleensä fotometri tai CCD-kamera. Fotometrian avulla voidaan saada selville tähtien ja galaksien etäisyyksiä, maailmankaikkeuden geometriaa sekä esimerkiksi asteroidien, kaksoistähtijärjestelmien sekä muuttuvien tähtien ominaisuuksia.

## 1.2 Peruskäsitteitä

Fotometriasta puhuttaessa on hyvä tuntea muutama peruskäsite .

- **Magnitudi** tarkoittaa taivaankappaleiden absoluuttista tai näennäistä kirkkautta. Absoluuttinen magnitudi kertoo kohteen todellisen kirkkauden, ja näennäinen magnitudi silmin nähtävän kirkkauden.
- **Vuotiheys** on kohteesta tulevan säteilyn teho pinta-alayksikköä kohti.
- **Vuo** on tietyn suuruisen pinta-alan lävistävän säteilyn tehoa, eli

vuontiheyden pinta-alaintegraalia.

- **Aallonpituus** on (sähkömagneettisen) aallon samassa vaiheessa olevien kahden pisteen välinen etäisyys.
- **Aallonpituusalue** tarkoittaa kahden eri aallonpituuden välistä aluetta
- **Parsek** eli parallaksisekunti on etäisyys, jolta yksi astronominen yksikkö ( $1,49517870 \times 10^{11}$  m) näkyy 1/3600 asteen eli yhden kaarisekunnin kulmassa.
- **Valokäyrä** on kohteen kirkkaus ajan funktiona.
- **Standarditähti** on tähti, jonka kirkkaus tunnetaan äärimmäisen tarkasti. Kirkkautta voidaan käyttää magnitudijärjestelmien nollakohtina tai mittauslaitteiden kalibrointiin.
- **Muuttuva tähti eli muuttuja** on tähti, jonka kirkkaus vaihtelee esimerkiksi pimennyksistä tai tähdessä tapahtuvissa fysikaalisista muutoksista johtuen.
- **Fotometrinen yö** on yö, jonka aikana ilmakehän absorptio on vakio.
- **Saturoituminen** tarkoittaa kuvatun kohteen puhkipalamista, eli kohteesta tulee kameraan enemmän valoa kuin kamera pystyy käsittelemään.

## 2 Fotometrian mittaukset

Fotometria tarkoittaa yksinkertaistettuna sähkömagneettisen säteilyn keräämistä teleskoopilla, josta se esimerkiksi ohjataan optisten filttareiden läpi ja tallennetaan valoenergia valoa tunnistavalla instrumentilla.

### 2.1 Mittaaminen fotometrillä

Fotometri on laite, jota käytettiin ennen fotometriin mittauksiin, ja vielä nykyäänkin tietyissä tilanteissa, vaikka nykyään sen on paljolti korvannut

monikäyttöisempi CCD-kamera. Fotometri mittaa kohteen lähettämän säteilyn intensiteettiä ohjaamalla säteilyn valoa tunnistavalle kennolle.

Fotometri on siis mittalaite, joka käyttää valomonistinta. Fotometrissa on yleensä seuraavat osat:

- *Diafragma*, joka on kaukoputken polttotasossa ja päästää lävitseen vain mitattavan kohteen valon. Diafragmaja on erikokoisia, ja niistä valitaan sopivin kohteen perusteella.
- *Käännettävä peili*, jonka kautta diafragmaa voi katsoa ja näin keskittää kohde diafragman keskelle. Nykyään tässä on yleisesti käytössä tv-kamera.
- *Suodin*, jonka vain haluttu aallonpituuskaista läpäisee. Jos fotometrissä on vain yksi valomonistin, suotimet on kiinnitetty joko suodinpyörään tai muunlaiseen koneistoon, jolla haluttu suodin voidaan valita. Valo voidaan myös jakaa puoliläpäisevillä peileillä useammalle valomonistimelle, jonka jokaisen edessä on kiinteä suodin. Värierottelupeili päästä lävitseen tiettyä rajaa pidempiaaltoisen säteilyn ja heijastaa loput, tai päinvastoin.
- *Kenttälinssi*, joka kuvaa kohteen fotokatodin pinnalle hieman levitettynä läiskänä. Tämä tehdään sen vuoksi, etteivät katodin pinnan paikalliset herkkyysvaihtelut vaikuttaisi mittaustulokseen.
- *Valomonistinputki eli varsinainen ilmaisin*, joka on jäähdytetty pimeän virran vähentämiseksi.
- *Elektroniikkaa*, joka muuntaa valomonistimesta tulevan virran digitaaliseen muotoon ja integroi signaalia halutun ajan.

Fotometrin etu on se, että joillakin fotometreillä voidaan mitata useita eri värejä tai polarisaatiosuuntia samanaikaisesti. Polarisaation mittaamisessa fotometri on CCD-kameroita tarkempi, ja fotometrin havaintojen käsittely on melko yksinkertaista. Fotometrin herkkyys ei kuitenkaan ole läheskään niin hyvä kuin CCD-kameroilla ja valomonistin rikkoutuu helposti, jos siihen pääsee liikaa valoa.

Ennen kuin fotometrillä tehtävien mittausten teko voi alkaa, valomonistinputki täytyy jäädyttää hyvissä ajoin ennen aloittamista, jotta lämpötila ehtii stabiloitua. Myös kiihdytysjännitteen on annettava stabiloitua, koska valomonistimen vahvistus riippuu paljolti siitä.

Kun kaukoputki on suunnattu kohteeseen, valitaan sopiva diafragma. Fotometriin osuu valoa kohteen lisäksi myös taustataivaasta. Kohteesta tehtävien havaintojen välillä on havaittava myös taustaa, joka myöhemmin vähennetään kohteesta tulevasta signaalista. Kohteen kirkkaus voidaan mitata fotometrin avulla ainakin kolmella tavalla: yksikanavaisella, kaksikanavaisella tai synkronisella kaksikanavaisella fotometrillä.

## 2.2 Mittaaminen CCD-kameralla



Kun käytetään CCD-kameraa fotometriin mittauksiin, informaation (esim. tähden magnitudi) keräämiseen CCD-kuvan raakaversiosta on useita eri mahdollisuuksia.

CCD-kameran valoherkkä kenno koostuu yleensä piidiodeista eli

pikseleistä. Havaittu signaali on tavallisesti kameran optiikasta johtuen



jakautunut usean pikselin alueelle, ja kuvassa on

mukana kaikenlaista kohinaa. Kun yritetään

havaita kohdetta, joka on pienempi kuin itse

kameran resoluutio, täytyy kerätä yhteen kaikki

kohteen lähettämä valo, ja vähentää siitä muu

taivaalta tuleva valo. Tähän tarkoitukseen

käytetään erilaisia tekniikoita, joista

yksinkertaisin on apertuurifotometria. Alueita, joissa tähdet ov

CCD-kuvia otettaessa täytyy valotusaika valita

huolellisesti. Sen on oltava tarpeeksi pitkä

kunnollisen signaalin ja kohinan suhteen

saamiseksi, mutta liian pitkällä valotusajalla kuvat satureituvat.

Satureituneista kuvista signaalia ei voi mitata.

Ongelmana ovat standarditähdet, jotka ovat yleensä melko kirkkaita.

Niitä kuvattaessa isoilla teleskoopeilla on käytettävä suhteellisen lyhyttä

valotusaikaa eli muutamaa sekuntia. Joidenkin CCD-kameroiden suljin

on iiris-tyyppinen, jolloin CCD:n keskusta valottuu reunoja kauemmin.

Hyvin lyhyillä valotusajoilla tähden mitattu kirkkaus saattaa riippua sen

paikasta CCD:llä. Tämän takia valotusajat eivät saisi olla noin 3-5 sekuntia

lyhyempiä. Jos kuitenkin otetaan myös flat-fieldejä samoilla valotusajoilla,

lyhyitä valotusaikoja voi käyttää. Toisaalta kuvaa voi myös hieman

defokusoida, jolloin voi käyttää pitempää valotusaikaa.

## 2.2.1 Apertuurifotometria

Apertuurifotometriassa mitataan ympyrän muotoisen alueen, apertuurin,

sisältä tulevan säteilyn energiaa. Jotta saataisiin itse tähdestä tulevan

säteilyn energia, vähennetään tästä säteilystä taustasäteily. Käytännössä

mitataan siis elektronien lukumäärää, joka on verrannollinen säteilyyn.



Hyvän signaalin ja kohinan suhteen saamiseksi on valittava sopivan kokoinen apertuuri. Apertuurin optimikoko on suhteellisen pieni, mutta se ei saa olla liian pieni, ettei osa valosta joudu apertuurin ulkopuolelle. Kirkkaita tähtiä voidaan mitata suurella apertuurilla ja himmeämpiä pienellä.

## 2.2.2 PSF-fotometria

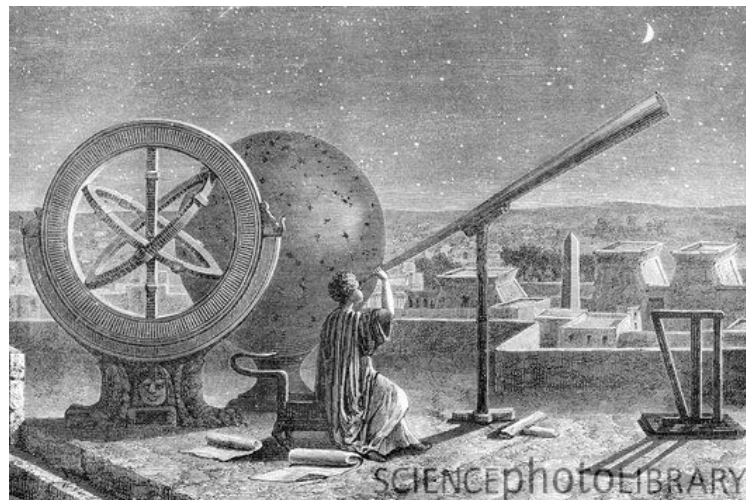
PSF-fotometrialla (Point spread function = pistejakautunut funktio) on muutamia tärkeitä etuja apertuurifotometriaan verrattuna. PSF-menetelmällä voidaan mitata samanaikaisesti useampia toisiaan lähellä olevia kohteita eli esimerkiksi alueilla, joilla tähtiä on tiheässä. Tätä ei voi tehdä apertuurifotometrian keinoin. PSF-fotometria on apertuurifotometriaa tarkempi menetelmä himmeitä tähtiä havaittaessa. PSF-fotometrialla tähden kuva voidaan vähentää CCD-kuvasta esimerkiksi taustalla olevan galaksin mittaamista varten.

Aluksi muodostetaan kentän kirkkaiden tähtien avulla PSF. Seuraavaksi muodostettu PSF sovitetaan mitattavan kohteen profiiliin. Tässä vaiheessa on huomioitava, että PSF voi olla erilainen CCD-kuvan eri osissa. Kun tiedetään PSF:n korkeus, magnitudi sekä mitattavan kohteen korkeus, voidaan laskea kohteen magnitudi.

## 3 Magnitudit

*Kauan sitten muinaisessa Kreikassa eläi muuan tähtitieteilijä nimeltä Hipparchus, joka tutki taivaan tähtösiä. Eräänä päivänä hän huomasi eriskummallisen seikan: toiset tähdet olivat kirkkaampia kuin toiset! Tästä kiinnostui Hipparchus, ja kauan asiaa pohdittuaan keksi ongelmaansa ratkaisun: Tähtöset tuli täst'edes*

*jaettaman kuuteen eri luokkaan kirkkautensa perusteella. Ensimmäiseen luokkaan kuuluivat kaikkein taivaalla kirkkaiten loistavat ja yötaivasta kaunistavat kappaleet, kun taas kuudennessa luokassa oli himmeimpien tähtien paikka, niiden, jotka vain oikein silmiä siristmällä saattoi öisin erottaa. Näin syntyi tämä käsite, joka myöhemmin aikoina nimettiin kunniaakkaasti Magnitudiksi.*



Nykyaikana magnitudi tarkoittaa tähden suuruusluokkaa. Nimitys on hieman hämäävä, sillä

sana “suuruusluokka” liittyy tähtitieteessä tähden kirkkauteen eikä suinkaan kokoon, vaikka niin voisi luulla. Sanaa “kirkkausluokka” ei sovi käyttää magnitudeista puhuttaessa, koska kirkkausluokat, luminositeettiluokat, jakavat tähdet kääpiöihin ja jättiläisiin.

Käytännössä magnitudi siis tarkoittaa tähden tai muun taivaankappaleen näennäistä tai absoluuttista kirkkautta.

### 3.1 Magnitudijärjestelmät

Kohteelle mitattu magnitudi riippuu kohteen itsensä lisäksi myös käytetystä havaintolaitteesta. Laitteen herkkyys eri aallonpituuksilla on erilainen. Lisäksi eri laitteet rekisteröivät eri aallonpituusalueita. Tämän vuoksi havaintolaitteen mittaama vuo ei vastaa koko sitä vuota, joka kohteesta tulee havaintolaitteeseen, vaan ainoastaan osaa siitä.

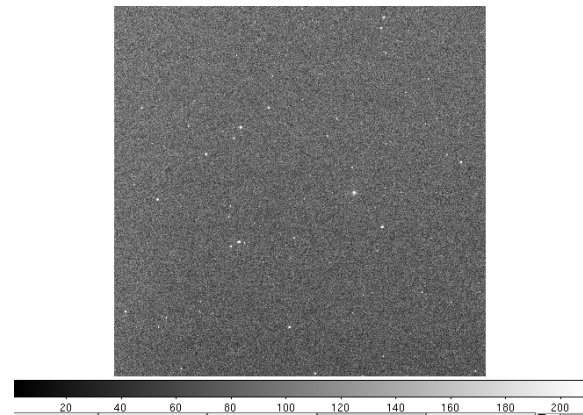
Rekisteröintimenetelmän perusteella voidaan tunnistaa erilaisia magnitudijärjestelmiä. Eri järjestelmien nollakohdat eroavat toisistaan, eli niissä käytetään erilaisia magnitudia 0 vastaavia vuontiheyden arvoja. Nollakohdat määritellään yleensä standarditähtien avulla.

Yleisimpiä magnitudijärjestelmiä ovat UBVRI, Strömgrenin uvby, Thuan-Gunn uvgr ja SDSS u' g' r' i' z'.

## 4 Kuvankäsittely

### 4.1 Virheiden korjaus

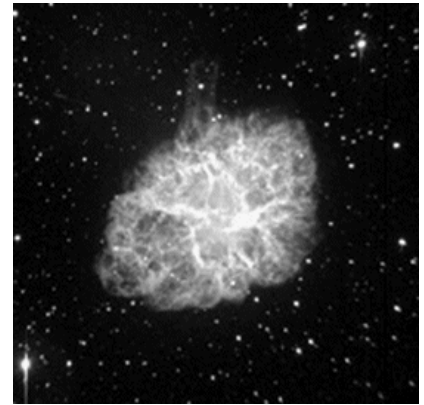
Kokeellisessa tieteessä virheet ja niiden mahdollisuus on aina otettava huomioon, ja samoin on laita avaruudesta otettujen tiedekuvien kanssa. Virheiden korjaus on olennainen osa avaruuskuvien käsittelyä. Virheitä syntyy muun muassa CCD-kennon kohinasta ja pikselivirheistä sekä erilaisista suodattimista ja yksinkertaisesti laitteeseen kertyneestä liasta ja pölystä. Kohinaa ja pikselivirheitä poistetaan varsinaisista kuvista bias-kuvien avulla. Bias-kuvat ovat ilman suodatinta yleensä iltataivaasta otettuja kuvia. Filttereiden virheet korjataan flat-field-kuvilla, jotka ovat suodatinkohtaisia. Esimerkiksi iraf-ohjelman avulla bias- ja flatfieldkuvista muodostetaan erityinen korjauskuva, jolla ohjelma poistaa virheet varsinaisista kuvista.



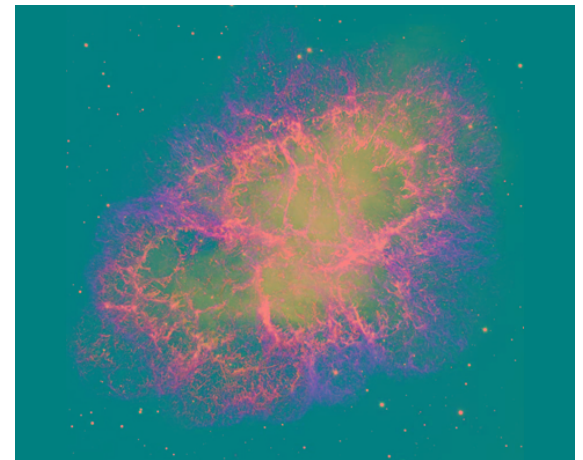
### 4.2 Kauniit kuvat

Joskus taivaankappaleista halutaan ottaa esteettisesti miellyttäviä kuvia, joiden tieteellinen painoarvo on kenties vähäisempi kuin varsinaisten tiedekuvien.

Tällainen kaunis kuva on yleensä nelivärikuva, joten siihen tarvitaan monella eri väriä läpäisevällä filterillä otettuja flat- ja biaskorjattuja kuvia. Tällaisia ovat ainakin R eli punaista valoa läpäisevä, B eli sinistä läpäisevä, V eli näkyvää valoa (keltaista ja vihreää) läpäisevä sekä joskus I eli infrapuna ja U eli ultraviolettia läpäisevä filteri.



Yhdistämisessä on otettava huomioon se, että maapallon pyörimisestä johtuen kuvat ovat hieman eri kohdista taivasta. Ongelma korjataan valitsemalla kuvista standarditähdet, joiden avulla esimerkiksi iraf-ohjelma osaa asettaa kuvat samankohtaisiksi.



Kun näillä filtereillä otetut kuvat värjätään sopivilla väreillä ja yhdistetään, tuloksena on nelivärikuva. Yhdistämisessä on otettava huomioon se, että maapallon pyörimisestä johtuen kuvat ovat hieman eri kohdista taivasta. Ongelma korjataan valitsemalla kuvista standarditähdet, joiden avulla esimerkiksi iraf-ohjelma osaa asettaa kuvat samankohtaisiksi. Kuvat voidaan periaatteessa värjätä minkälaisilla väreillä tahansa, mutta parhaaseen ja aidoimpaan kuvaan päädytään tietysti värjäämällä kuvat filtereiden mukaisilla väreillä.

Kauniiden avaruuskuvien valmistukseen voi tutustua myös tämän esitelmän avulla: [http://prezi.com/u1gaibk\\_bqqj/not-tiedekoulu/](http://prezi.com/u1gaibk_bqqj/not-tiedekoulu/)

## 5 Lähteet

Heikki Oja : Polaris

Hannu Karttunen: Tähtitieteen perusteet (2003)

Kari Nilsson, Leo Takalo ja Jukka Piironen: Havaitseva tähtitiede (2003)  
Iraf-ohje (2011)